

① RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

⑪ N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 658 617

⑫ N° d'enregistrement national :

90 02471

⑬ Int Cl⁸ : G 01 W 1/00, 1/14

⑭

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑮ Date de dépôt : 22.02.90.

⑯ Priorité :

⑰ Demandeur(s) : DELAHAYE Jean-Yves — FR,
GLOAGUEN Catherine — FR et LAVERGNAT
Jacques — FR.

⑱ Inventeur(s) : DELAHAYE Jean-Yves, GLOAGUEN
Catherine et LAVERGNAT Jacques.

⑲ Date de la mise à disposition du public de la
demande : 23.08.91 Bulletin 91/34.

⑳ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche : Se reporter à la fin du présent fascicule.

㉑ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

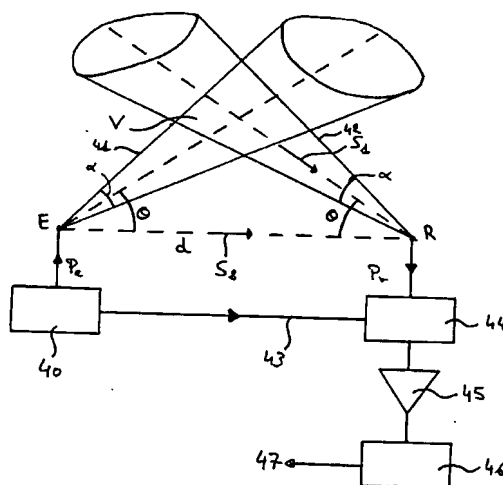
㉒ Titulaire(s) :

㉓ Mandataire : Vidon Patrice Vidon Patrice Consultants.

㉔ Dispositif et procédé d'identification et de quantification des hydrométéores par effet Doppler.

㉕ Le domaine de l'invention est celui de l'identification et de la quantification des hydrométéores, c'est à dire la reconnaissance des différents types ainsi que la mesure du volume de précipitations météorologiques telles que pluie, neige, grêle, brouillard, etc... en un lieu donné et pendant une certaine période de temps.

Selon l'invention, le dispositif a pour fonction d'identifier et de mesurer par diffusion et par effet Doppler la quantité d'hydrométéores traversant un volume (V) de mesure diffusant une onde électromagnétique hyperfréquence, provenant d'un module d'émission, vers un module de réception, ledit volume (V) diffusant étant constitué par l'intersection du lobe principal (41) de rayonnement de ladite onde électromagnétique émise par ledit module d'émission avec le lobe principal (42) de rayonnement dudit module de réception, caractérisé en ce que lesdits modules d'émission et de réception sont distincts et en ce que leurs directions d'orientation (Θ_e , Θ_r) respectives forment un angle non nul entre elles.



FR 2 658 617 - A1



Dispositif et procédé d'identification et de quantification des hydrométéores par effet Doppler.

Le domaine de l'invention est celui de l'identification et de la quantification des hydrométéores, c'est à dire la reconnaissance des différents types ainsi que la mesure du volume des précipitations météorologiques telles que pluie, neige, grêle, brouillard, etc... en un lieu donné et pendant une certaine période de temps.

Plus précisément, la présente invention concerne un dispositif mettant en oeuvre un procédé d'identification automatique des hydrométéores au moyen d'un système de transmission d'ondes dans le domaine des hyperfréquences.

Le remplacement, dans les stations météorologiques, des observateurs au sol par des instruments automatiques pour indiquer le type de précipitations, est une tendance récente. Cette facilité doit permettre d'accroître sensiblement le nombre de points d'observation.

De façon connue, les dispositifs d'identification d'hydrométéores actuels sont généralement basés sur la détection des scintillations produites par le passage d'hydrométéores à travers un faisceau de lumière visible ou infrarouge. De tels dispositifs sont notamment décrits dans les documents de brevet US n° 4.754.149 et 4.760.272 de Wang.

Le principal inconvénient de ce genre de dispositifs réside dans leur incapacité de détecter tous les types d'hydrométéores et notamment la grêle.

D'autres dispositifs utilisent des radars Doppler pour mesurer la vitesse de chute des hydrométéores pour en déduire le type. Ces dispositifs mesurent la réflectivité des hydrométéores à identifier. Un tel dispositif est par exemple décrit dans l'article "A new precipitation occurrence sensor system" (un nouveau système de détection des précipitations) de Sheppard. Le dispositif décrit comprend une antenne hyperfréquence émettant une onde dans une direction parallèle et opposée à la direction de chute des hydrométéores (notamment verticale). L'onde incidente est réfléchiée par les hydrométéores vers le cornet d'émission comprenant également une antenne de réception. Un traitement du signal réfléchi, notamment par transformée de Fourier, permet de déterminer la présence, le type et la quantité d'hydrométéores tombés dans le volume de mesure.

Cette technique permet en principe de distinguer les trois types principaux d'hydrométéores (pluie, neige, grêle), mais le fonctionnement de ces dispositifs n'est pas satisfaisant. En effet le rebond des hydrométéores sur l'antenne produit des échos parasites. Ces échos parasites induisent le dispositif d'analyse du signal réfléchi en erreur, celui-ci détectant alors par exemple de la neige au lieu de la pluie.

Pour remédier à ce problème, un algorithme de détection et d'élimination des signaux générés par les échos parasites doit être mis en oeuvre, ce qui est lourd et complexe à mettre en oeuvre.

Une autre méthode d'élimination de ce problème conduit soit à pointer l'antenne dans une direction autre que la verticale, soit à réduire l'effet des rebonds par l'emploi de deux miroirs à 45°. Mais alors d'autres difficultés apparaissent: le moindre mobile dans le faisceau perturbe la mesure dans le premier cas, la mesure de la vitesse verticale implique la rotation des miroirs dans le second.

Un autre inconvénient de ce genre de dispositif est que la détection d'hydrométéores est réalisée dans un volume infini, ce qui impose la mise en oeuvre d'une discrimination temporelle coûteuse en électronique.

La présente invention a notamment pour objectif de pallier ces inconvénients.

Un premier objectif de l'invention est de mettre en oeuvre un dispositif et un procédé ayant la capacité de détecter et de distinguer la neige de la pluie et de la grêle, et d'évaluer le taux de précipitation des hydrométéores.

Un deuxième objectif de l'invention est de fournir un tel dispositif ne nécessitant qu'une maintenance réduite afin de permettre un fonctionnement autonome du dispositif pendant une longue période de temps.

Un troisième objectif de l'invention est de ne présenter qu'une sensibilité réduite aux éléments environnants tels que murs, arbres ou tout autre obstacle à plus de cinq mètres de distance.

Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite sont atteints grâce à un dispositif d'identification et de mesure par diffusion et par effet Doppler

de la quantité d'hydrométéores traversant un volume de mesure diffusant une onde électromagnétique hyperfréquence, provenant d'un module d'émission, vers un module de réception, le volume diffusant étant constitué par l'intersection du lobe principal de rayonnement de l'onde électromagnétique émise par le module d'émission avec le lobe principal de rayonnement du module de réception, caractérisé en ce que les modules d'émission et de réception sont distincts et en ce que leurs directions d'orientation respectives forment un angle non nul entre elles.

Ce dispositif permet donc l'identification d'hydrométéores à l'aide de deux modules distincts, ce qui a notamment pour principal avantage d'éliminer les échos parasites caractéristiques des systèmes existants à module unique, comme souligné précédemment.

L'angle d'intersection est notamment tel que le volume de mesure diffusant n'intersecte pas avec le volume constitué par la structure du module de réception ni avec celle constituée par le module d'émission.

Le volume de mesure est donc situé hors des structures des antennes d'émission et de réception. En l'absence d'hydrométéores, aucun signal n'est reçu par le module de réception, ce qui permet d'identifier les hydrométéores par une méthode de zéro, contrairement à l'état de la technique précité.

Selon un mode de mise en oeuvre préférentiel de l'invention, le module d'émission comprend un oscillateur générant la fréquence d'émission et une antenne d'émission, de lobe à demi-puissance α rayonnant selon un demi-angle de diffusion θ par rapport à l'axe passant par le module d'émission, et en ce que le module de réception comprend une antenne de réception identique à l'antenne d'émission placée à distance de celle-ci, un mélangeur des signaux provenant de l'émetteur et de l'antenne de réception et un amplificateur basses-fréquences.

Préférentiellement, le module de réception comprend une unité de traitement des ondes reçues permettant de déterminer le type et/ou la quantité d'hydrométéores ayant traversé le volume diffusant pendant une certaine période.

Avantageusement, l'unité de traitement comprend des moyens de mesure de la diffusion latérale du signal émis dans le volume de mesure, et des moyens d'analyse spectrale du signal reçu.

Notamment, les hydrométéores consistent en de la neige, de la grêle et/ou de la pluie.

Selon un mode de mise en oeuvre préférentiel de l'invention le demi-angle de diffusion θ du lobe principal de rayonnement de l'onde électromagnétique émise par rapport à l'horizontale est sensiblement égal à celui du lobe principal de rayonnement de l'antenne de réception et se trouve compris entre environ 15 et 60° et vaut préférentiellement 45°.

Dans ce cas, le lobe à demi-puissance α est avantageusement inférieur à environ 25° et vaut notamment 22,5°

Avantageusement, les antennes d'émission et de réception sont des antennes de type cornet circulaire ou rectangulaire.

Préférentiellement, les antennes d'émission et de réception sont des antennes auto-protégées.

Selon un autre mode de réalisation, les antennes des modules d'émission et de réception sont protégées par des radômes notamment constitués en matériau plastique soudés sur les pourtours des cornets constituant les antennes.

Avantageusement, la fréquence d'émission de l'onde électromagnétique provenant du module d'émission est comprise entre environ 21 et 40 GHz et vaut notamment 35 GHz.

D'autre part, l'oscillateur à la fréquence f_0 est soit :

- . un oscillateur de type ORD seul
- . un oscillateur de type ORD ou GUNN asservi sur un pilote à quartz par l'intermédiaire d'une boucle de phase
- . un oscillateur de type ORD ou GUNN suivi d'un multiplicateur à diodes "IMPATT".

L'invention concerne également un procédé mis en oeuvre par un tel dispositif et comportant préférentiellement les étapes suivantes :

- . une première étape de détection d'hydrométéores par mesure de la diffusion latérale dans le volume de mesure.
- . une seconde étape d'identification des hydrométéores détectés par analyse spectrale du signal reçu.

Avantageusement, le procédé selon l'invention comprend une troisième étape de quantification des hydrométéores identifiés par mesure de la puissance diffusée à la sortie du module récepteur.

5 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel de l'invention, donné à titre illustratif et non limitatif, et des dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente la géométrie d'un mode de réalisation préférentiel du principe de mesure selon l'invention.
- 10 la figure 2 est un schéma illustrant le phénomène de diffusion latérale d'un rayonnement hyperfréquence dans un hydrométéore utilisé dans le dispositif de l'invention,
- la figure 3 représente les spectres Doppler normalisés pour des cas typiques de pluie, grêle et neige.
- 15 la figure 4 est un schéma représentant les principaux modules de détection, d'analyse et de quantification d'un mode de réalisation préférentiel du système selon la présente invention.

La figure 1 représente la géométrie d'un mode de réalisation avantageux du principe de mesure selon l'invention.

20 Cette géométrie est basée sur l'utilisation de la diffusion latérale due aux hydrométéores. Un émetteur E envoie une onde hyperfréquence 1 d'angle d'ouverture α_e suivant une direction faisant un angle θ_e par rapport à l'horizontale. Le milieu de propagation de cette onde est caractérisé par sa variable d'espace r_1 . Cette onde hyperfréquence 1 traverse le volume de réception 2 d'un récepteur R.

25 Ce volume de réception 2 est caractérisé par son angle d'ouverture α_r , son angle par rapport à l'horizontale θ_r et la variable d'espace r_2 du milieu. L'intersection de ces deux volumes 1,2 constitue un volume appelé volume diffusant V.

En l'absence d'hydrométéores dans le volume V, aucune énergie n'est transmise de l'émetteur E vers le récepteur R. La puissance reçue est donc nulle.

30 En revanche, si des hydrométéores traversant le volume V, une partie de la puissance émise est déviée vers le récepteur R.

Cette géométrie permet donc de détecter des hydrométéores, si la puissance diffusée est suffisamment forte (ou le récepteur suffisamment sensible), tout en étant basée sur ce que l'on pourrait appeler une méthode de zéro.

En effet, les hydrométéores se distinguent entre eux par leur vitesse de chute terminale. Cette propriété peut être mise à profit pour opérer la distinction par la mesure de l'effet Doppler sur le spectre de puissance diffusée.

La description suivante constitue une étude théorique de la puissance diffusée.

On se place dans l'approximation de diffusion multiple au premier ordre, connue sous le nom d'approximation de Born. Compte tenu des longueurs d'ondes que l'on se propose d'utiliser, les points E et R peuvent être considérés comme éloignés des particules diffusantes. On admet que chaque particule diffusante est illuminée par un champ incident dont les caractéristiques géométriques ne sont pas perturbées par le milieu traversé et dont l'amplitude est réduite comme le champ cohérent par un terme en $\exp(-T)$ où T est la profondeur optique du trajet considéré. Si l'on examine le champ diffusé par la particule M et reçu en R, il faut tenir compte à la fois de l'affaiblissement du champ émis entre E et M et de l'affaiblissement du champ diffusé entre M et R.

L'hypothèse d'incohérence en phase des champs diffusés permet de considérer que la puissance totale reçue en R est égale à la somme des puissances individuelles diffusées par chacune des particules situées dans le volume V. Le flux de puissance P_j diffusée par chaque particule j et capté par l'antenne de réception est donné par :

$$P_j = \epsilon_0 \cdot c \frac{|\mathbf{s} \cdot \mathbf{a}_j|^2}{2k^2 r_{2j}^2} E_j^2 e^{-Y r_{2j}}$$

- où :
- ϵ_0 est la permittivité du vide ,
 - c est la vitesse de la lumière,
 - s est un vecteur indiquant la polarisation reçue par l'antenne,
 - Y est le coefficient d'affaiblissement linéique,
 - E_j est l'amplitude du champ incident sur la particule j,
 - $k = 2 \pi / \lambda$,

- N est la longueur d'onde,
- a est le rayon de la particule diffusante.

L'amplitude E_{ij} s'obtient à partir de la puissance de l'émetteur P_e et du gain d'émission $G_e(\theta_e, \Phi_e)$:

$$E_{ij}^2 = \frac{2 P_e G_e(\theta_e, \Phi_e)}{\epsilon_0 \cdot c \cdot 4 \pi r_{1,j}^2} \cdot e^{-Y r_{1,j}}$$

En incluant le rendement de l'antenne dans l'expression du gain G_e , on obtient :

$$P_j = P_e G_e(\theta_e, \Phi_e) \frac{|s.a_j|^2}{4\pi k^2 r_{1,j}^2 r_{2,j}^2} e^{-Y(r_{1,j} + r_{2,j})}$$

La puissance totale P_r captée par le module de réception s'obtient en faisant intervenir son gain $G_r(\theta_r, \Phi_r) \cdot \pi/k^2$

qui s'écrit alors :

$$P_r = P_e \oint_D G_e(\theta_e, \Phi_e) G_r(\theta_r, \Phi_r) \frac{|s.a(p,r)|^2}{4k^4 r_1^2(r) r_2^2(r)} e^{-Y(r_1 + r_2)} \sigma(p,r) dr dp.$$

où : - p est un vecteur paramètre dont les composantes symbolisent les différentes caractéristiques des particules diffusantes (diamètre équivalent, angle d'inclinaison,...)

- σ est la densité de distribution des hydrométéores selon le vecteur p satisfaisant à la condition de normalisation :

$$\oint \sigma(r,p) dp = n(r)$$

où $n(r)$ est la concentration d'hydrométéores.

En supposant que les antennes d'émission et de réception sont assimilables à des cônes d'angle d'ouverture respectifs α_e et α_r , le volume diffusant V est de dimension finie. Pour des angles θ_e et θ_r inférieurs à 50°, et des angles α_e et α_r inférieurs à 20°, le volume V est suffisamment petit pour que l'on puisse confondre l'ensemble des points qui le composent et rendre de ce fait la puissance P_j indépendante de j. Ceci revient à remplacer l'intégrale sur n par une multiplication par le volume V.

La puissance diffusée devient alors :

$$P_d = \frac{P_e G_e G_r V}{4k^4 r_1^2 r_2^2} e^{-Y(r_1+r_2)} \oint_{D'} |s.a(p, k_i, k_d)|^2 \sigma(p) dp$$

où D' est le domaine de variation des paramètres p .

Le gain G_e est évalué en M ainsi que les valeurs de a , r_1 , r_2 et l'on suppose que la concentration des diffuseurs σ est homogène.

Si l'on prend des rendements d'antenne égaux à 73 % (obtenus par mesure), on peut exprimer les gains G des antennes en fonction de l'angle α en degrés :

$$G = 30.000/\alpha^2$$

L'amplitude de diffusion a est calculée en utilisant la théorie de Mie et, dans une première étape, p est réduit à la seule taille des hydrométéores.

La puissance d'émission P_e est fixée à 100 mW (20 dBm). La puissance reçue dépend des paramètres : d (distance entre l'émetteur et récepteur), α_e , α_r , θ_e , θ_r , f_0 (fréquence de travail), polarisation à l'émission et à la réception. Pour cette dernière, on peut se contenter dans un premier temps de faire les calculs pour une polarisation émise horizontalement c'est à dire perpendiculaire au plan de diffusion et admettre que l'antenne de réception est parfaitement adaptée en polarisation.

La puissance reçue est fonction également du type d'hydrométéores (pluie, neige, grêle).

Les conditions de calcul sont les suivantes :

- la distribution de Marshall-Palmer est utilisée comme type de pluie.
- la température des gouttes de pluie est de 20°C.
- le taux de pluie est de 12,5 mm/h.
- $\alpha = \alpha_e = \alpha_r$
- $\theta = \theta_e = \theta_r$

En faisant varier l'angle θ pour différentes distances d , et ce pour une fréquence f_0 de 40 GHz, il apparaît que plus l'angle d'élévation des antennes est faible, plus la puissance diffusée est forte. Cependant, l'angle θ ne doit pas être trop faible ($>15^\circ$) pour qu'une véritable diffusion latérale soit effectuée.

La puissance diffusée varie en d^{-1} puisque le volume diffusant V varie en

d^3 et l'affaiblissement d'espace en d^4 .

De plus, une fréquence de travail f_0 comprise entre 30 et 60 GHz confère un maximum d'efficacité au dispositif.

Par ailleurs, plus l'angle α est petit, plus la puissance reçue est grande.

5 La nature de la pluie (différents types de distributions) n'influe pas sur les résultats.

Dans le cas de la diffusion par des flocons de neige, la gamme de fréquence préférentielle est entre 40 et 60 GHz. Il en va de même pour de la neige mouillée.

10 Enfin, pour la grêle, plus la fréquence d'émission est faible, plus la puissance diffusée est importante. Entre 40 et 60 GHz, la puissance diffusée est cependant largement suffisante pour être détectée.

La figure 2 représente un schéma illustrant le phénomène de diffusion latérale d'un rayonnement hyperfréquence dans un hydrométéore.

15 Les calculs effectués supposent les particules diffusantes immobiles. Cette approche est valable si l'on compare les vitesses de chute des hydrométéores (quelques m/s) à la vitesse de la lumière. En fait, le niveau capté par l'antenne de réception R présente des fluctuations temporelles provenant de la variation temporelle de la configuration spatiale des hydrométéores.

20 Le signal capté doit donc être considéré comme un signal aléatoire. En plus de la puissance moyenne, les caractéristiques en énergie de ce signal impliquent notamment la densité spectrale de puissance (DSP).

Une particule de vitesse V diffuse une onde dont la fréquence perçue par le récepteur est :

25
$$f = f_0 + (1/2\pi) V (K_d - K_i).$$

K_i est le vecteur représentant l'onde incidente et K_d le vecteur représentant l'onde diffusée.

30 La localisation en fréquence de la puissance totale diffusée s'obtient en triant les hydrométéores par la composante de leur vitesse le long du vecteur $K_d - K_i$, puis en sommant la puissance diffusée par chaque diffuseur appartenant à la même classe. Près du sol, la vitesse terminale des hydrométéores ne dépend

que de leur taille et de leur nature.

La DSP du signal diffusé s'obtient donc en modifiant l'expression de la puissance totale de la façon suivante :

$$W_r(\delta f) = P_e \oint_D G_e(\theta_e, \phi_e) G_r(\theta_r, \phi_r) \frac{|s_a(t, r)|^2}{4k^2 r_1^2(r) r_2^2(r)} e^{-Y(r_1+r_2)} \times$$

$$\sigma(t, r) \left| \frac{dt}{dv_z} \right| \frac{1}{(K_d - K_i)_z} dr$$

$$2\pi \delta f = v_z(t) (K_d - K_i)_z + w(K_d - K_i)$$

où : - δf est l'écart de fréquence par rapport à la fréquence d'émission f_0 .

- t est la taille de la particule déterminée en chaque point r par la résolution de la deuxième équation où apparaît la vitesse terminale v_z verticale.

- w est un champ de vitesse attribuable aux mouvements de l'atmosphère.

On constate que si l'on prend $\theta = \theta_e = \theta_r$, le vecteur $K_d - K_i$ est presque vertical dans tout le volume de diffusion V et l'effet Doppler n'est plus sensible qu'à la vitesse verticale des hydrométéores.

La deuxième équation devient alors :

$$\delta f = \frac{2f}{c} v_z \sin \theta$$

Si l'on suppose que toutes les particules sont rassemblées au point M , l'intégration sur r a simplement pour effet de diminuer l'intégrand, évalué en M , par le volume V .

La DSP s'écrit alors

$$W(\delta f) = P_e G_e G_r V e^{-Y(r_1+r_2)} \frac{|s_a(t)|^2}{8k^2 r_1^2 r_2^2 \sin \theta} n(t) \frac{dt}{dv}$$

En fait, puisqu'on ne s'intéresse qu'à la forme du spectre, on introduit la DSP normalisée :

$$W_n(\delta f) = |s_a(t)|^2 n(t) dt/dv$$

Dans le cas de la diffusion latérale, l'amplitude $|s_a(t)|^2$ est proportionnelle à t^6 .

On obtient ainsi :

$$W_n = \int t^n n(t) dt/dv$$

La figure 3 représente les spectres normalisés pour des cas typiques de pluie, de neige et de grêle.

5 Cette figure appelle les commentaires suivants : les hydrométéores se distinguent à la fois par la position du spectre sur la gamme de fréquence et par sa largeur. Un moyen de quantifier ces tracés consiste à calculer la fréquence moyenne et l'écart type en fréquence de chacune des courbes en prenant la puissance spectrale comme facteur de pondération.

10 Les résultats obtenus sont les suivants :

- . pluie : fréquence moyenne = 754 Hz
écart type = 95 Hz
- . grêle : fréquence moyenne = 1082 Hz
écart type = 324 Hz
- 15 . neige : fréquence moyenne = 114 Hz
écart type = 13 Hz

Ces résultats montrent que d'une part la mesure de la diffusion latérale permet de détecter les précipitations et que d'autre part l'analyse du spectre des fluctuations permet de distinguer les trois types d'hydrométéores.

20 La figure 4 est un schéma représentant les principaux modules de détection, d'analyse et de quantification d'un mode de réalisation préférentiel du système selon la présente invention.

Un oscillateur hyperfréquence 40 fournit une puissance P_e à une antenne d'émission E. Le lobe principal de l'antenne d'émission est représenté par le volume 41 d'angle à demi-puissance α . L'axe central de ce volume fait un demi-angle θ avec l'horizontale.

L'intersection du lobe principal 41 de l'antenne d'émission E avec celui 42 de l'antenne de réception R constitue un volume V. Préférentiellement, comme indiqué précédemment, le demi-angle de diffusion θ du récepteur est sensiblement égal à celui de l'émetteur et il en va de même pour les lobes d'antenne à demi-puissance α qui sont égaux. Selon un mode de mise en oeuvre préférentiel du

présent dispositif, les antennes d'émission E et de réception R sont les mêmes. Le rendement des antennes est de 70 %.

Lorsque des hydrométéores traversent le volume V, une partie des ondes hyperfréquences émises par l'oscillateur 40 est diffusée vers l'antenne de réception R.

Le dispositif selon l'invention doit pouvoir distinguer le signal utile S_1 diffusé par des hydrométéores dont la vitesse de chute verticale est comprise entre 0,5 m/s (neige) et 50 m/s (grêle), du signal S_2 reçu directement de l'antenne d'émission E au travers des lobes secondaires, et aussi du bruit du mélangeur 44.

Afin d'insensibiliser le dispositif aux perturbations électromagnétiques telles que le secteur 50 Hz et les décharges d'origine naturelle (orages) ou industrielle, il faut que la fréquence f_0 soit telle que la mesure de vitesses de chutes faibles (0,5 m/s) se traduise par un décalage de fréquence Doppler f_D supérieur à 50 Hz. On obtient ainsi par calcul une fréquence f_0 supérieure à 21 GHz pour un angle θ voisin de 45°. Pour des raisons de coût, f_0 est avantageusement le plus faible possible. Le bruit de phase de la source devant être faible, un oscillateur à résonateur diélectrique (ORD) convient le mieux mais un oscillateur du type GUNN peut également trouver application dans la présente invention. Un multiplieur à diode IMPATT peut également être utilisé en combinaison avec l'un quelconque des oscillateurs précédents.

Le signal S_1 de puissance P_{s1} et de densité de puissance $ps1$ est affecté d'un décalage Doppler f_D , alors que le signal S_2 de puissance P_{s2} et de densité de puissance $ps2$ est centré sur la fréquence d'émission f_0 .

La densité de puissance $ps1$ est essentiellement déterminée par la distribution des vitesses de particules et $ps2$ est défini par le bruit de phase du signal d'émission. Le signal S_2 constitue donc un signal parasite.

$ps2$ est proportionnel à $d^{-2} \alpha^{-4} f_0^{-2}$ et $ps1$ à $d^{-1} \alpha^{-1} f_0$ entre 20 et 40 GHz pour la pluie.

La valeur de P_{s1} est déduite des calculs effectués préalablement pour $\alpha = 45^\circ$ et $\theta = 20^\circ$. Un fonctionnement optimal est obtenu pour $P_{s1} = -65$ dBm soit $ps1 = -95$ dBm/Hz entre 0,5 et 1,5 kHz et donc - 115 dBm/Hz lorsque la

puissance d'émission est de 1 mW.

Le rapport p_{s1}/p_{s2} est proportionnel à $d\alpha^3 f_0^3$.

La distance d séparant l'émetteur E du récepteur R n'intervient qu'à la puissance unité et peut être avantageusement réduite à une taille de l'ordre du mètre.

Afin que le dispositif présente une sensibilité réduite aux éléments environnants tels que murs ou arbres par exemple, qui seraient susceptibles de réfléchir vers l'antenne de réception R l'énergie émise par le lobe principal de l'antenne d'émission E, il est préférable que la distance entre un tel obstacle et le point situé à mi-distance entre E et R soit supérieure à $5d$.

Cette valeur est obtenue en supposant une perte par réflexion de 10 dB et en prenant un niveau relatif du lobe secondaire de l'antenne pour l'angle θ égal à 30 dB, θ étant compris entre 30 et 60° par rapport à l'horizontale.

L'angle α intervient à la puissance 3 et il faut donc choisir la plus grande valeur compatible avec un lobe secondaire faible dans la direction E - R. Or, les dépôts d'impuretés et de matières grasses sur les antennes sont une cause de diffusion. Un affaiblissement des lobes secondaires relatif au lobe principal de 30 dB est donc le maximum envisageable de façon durable en environnement atmosphérique. Les lois d'illumination des antennes simples tels que les cornets conduisent à un rapport entre les largeurs de lobe à 30 dB et à 3 dB voisin de 4.

Une valeur préférentielle de l'angle α est donc définie dans l'hypothèse d'un affaiblissement de - 30 dB dans la direction E-R et dans la direction perpendiculaire.

On obtient donc $\alpha = 90/4 = 22,5^\circ$ avec $\theta = 45^\circ$.

La fréquence f_0 intervient à la puissance 3. Au voisinage de 40 GHz, la puissance diffusée décroît lentement. La valeur optimale de la fréquence est choisie en fonction des équipements industriels existants. La valeur la plus proche de 40 GHz étant 35 GHz, c'est cette dernière valeur qui est adoptée pour le dispositif selon l'invention.

La puissance d'émission P_e minimale est fonction de la densité de bruit n du récepteur, essentiellement due au mélangeur. En supposant la densité de bruit

uniforme au récepteur, correspondant à un facteur de bruit de 14 dB, et sachant que $n = FkT$ et que $10 \log kT = -174$ dBm/Hz, on obtient pour $T = 290^\circ \text{ K}$, $n = -160$ dBm/Hz.

La condition $p_{s2} \geq n$ s'écrit alors :

$$5 \quad P_e \left[\frac{\alpha}{\alpha^2} \frac{41253}{A_\Theta} \frac{c}{4\pi f_o d} \right]^2 A_p(f) \geq n$$

où A_p est une fonction décroissante de f_D et α le rendement des antennes.

On obtient la puissance P_{emin} après avoir pris $f_D = f_D \text{ max}$

$$10 \quad P_{emin} = \frac{n}{\left[\frac{\alpha}{\alpha^2} \frac{41253}{A_\Theta} \frac{c}{4\pi f_o d} \right] A_p(f_D \text{ max})}$$

L'écart Doppler $f_D \text{ max}$ correspond à la vitesse maximale des hydrométéores, soit 50 m/s. Dans ce cas, $f_D \text{ max}$ vaut 10 kHz à 40 GHz. On trouve alors
 15 des puissances d'émission P_e inférieures au milliwatt aussi bien à 20 qu'à 40 GHz lorsque d est inférieur à 1 mètre.

Dans le cas où le gain d'antenne ne présente pas une atténuation suffisante à 45° du lobe principal, un matériau absorbant peut être avantageusement intercalé sur le trajet E-R pour absorber les ondes soit à la fréquence d'émission, soit large-
 20 bande.

Les antennes d'émission E et de réception R sont avantageusement protégées par un radôme contre les attaques chimiques dues aux composants acides en suspension dans l'atmosphère, ou alors sont auto-protégées. Les radômes peuvent consister en des capots en plastique. De plus on peut prévoir un dispositif
 25 de chauffage des antennes nécessaire à leur dégivrage.

Les antennes peuvent être de type cornet circulaire ou rectangulaire.

L'onde hyperfréquence 43 issue de l'oscillateur 40 est mélangée avec l'onde S_I reçue par l'antenne réceptrice dans un mélangeur 44. La puissance d'oscillateur est en premier lieu envoyée au mélangeur 44 et la puissance restante
 30 attaque l'antenne E. Une partie de la puissance est perdue dans la liaison physique 43 entre E et R (liaison guide d'ondes ou coaxiale). Plus la puissance émise est importante, plus l'amplification après mélange est facile à réaliser. Ce mélange

peut être assuré par une simple diode.

Le signal de sortie du mélangeur 44 est amplifié par un amplificateur 45 basse-fréquence entre 50 Hz et 10 KHz. Le signal amplifié est alors transmis à un module 46 d'acquisition, de traitement et de transmission qui après avoir numérisé le signal amplifié, effectue l'analyse spectrale pour déterminer le type d'hydrométéores traversant le volume diffusant V.

Comme précédemment décrit, les fréquences moyennes ainsi que les écarts types observés permettent de distinguer les différents types d'hydrométéores. La mesure du nombre d'hydrométéores tombés dans le volume diffusant V est obtenue par mesure de la puissance diffusée à la sortie 47 du récepteur.

Les résultats de l'analyse (identification, quantification) sont fournis à une unité de transmission et/ou d'enregistrement des résultats.

Un mode de mise en oeuvre préférentiel de l'invention consiste donc à prendre les paramètres suivants :

- . fréquence f_0 voisine de 35 GHz
- . Puissance P_e inférieure à 1 mW
- . lobe d'antenne à demi-puissance α proche de 22°
- . rendement η des antennes sans importance et de valeur 70 %
- . demi-angle de diffusion θ voisin de 45°
- . distance E - R de l'ordre de 1 m.
- . niveau relatif du lobe secondaire de l'antenne inférieur à 30 dB pour θ voisin de 45° .

Bien entendu, la présente description ainsi que les figures 1,2,3 et 4 ne constituent qu'un mode de réalisation préférentiel de l'invention et l'homme du métier imaginera aisément d'autres variantes ou applications rentrant dans le cadre de la présente invention.

REVENDICATIONS

1. Dispositif d'identification et de mesure par diffusion et par effet Doppler de la quantité d'hydrométéores traversant un volume (V) de mesure diffusant une onde électromagnétique hyperfréquence, provenant d'un module d'émission, vers un module de réception, ledit volume (V) diffusant étant constitué par l'intersection du lobe principal (41) de rayonnement de ladite onde électromagnétique émise par ledit module d'émission avec le lobe principal (42) de rayonnement dudit module de réception, caractérisé en ce que lesdits modules d'émission et de réception sont distincts et en ce que leurs directions d'orientation (θ_e, θ_r) respectives forment un angle non nul entre elles.

2. Dispositif selon la revendication 1 caractérisé en ce que ledit angle d'intersection est tel que ledit volume (V) de mesure diffusant n'intersecte pas avec le volume constitué par la structure dudit module de réception ni avec celle constituée par ledit module d'émission.

3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 et 2 caractérisé en ce que ledit module d'émission comprend un oscillateur (40) générant la fréquence (f_0) d'émission et une antenne d'émission (E), de lobe à demi-puissance (α) rayonnant selon un demi-angle de diffusion (θ_e) par rapport à l'axe (E-R) passant par ledit module d'émission et de réception, et en ce que ledit module de réception comprend une antenne de réception (R) identique à ladite antenne d'émission (E) placée à distance (d) de celle-ci, un mélangeur (44) des signaux (43) provenant de l'émetteur et de l'antenne de réception (R) et un amplificateur basses-fréquences (45).

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 caractérisé en ce que ledit module de réception comprend une unité (46) de traitement des ondes reçues permettant de déterminer le type et/ou la quantité d'hydrométéores ayant traversé ledit volume (V) diffusant pendant une certaine période.

5. Dispositif selon la revendication 4 caractérisé en ce que ladite unité (46) de traitement comprend des moyens de mesure de la diffusion latérale du signal émis dans ledit volume (V) de mesure, et des moyens d'analyse spectrale du signal reçu.

6. Dispositif selon la revendication 4 caractérisé en ce que lesdits hydrométéores consistent en de la neige, de la grêle et/ou de la pluie.

5 7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 6 caractérisé en ce que le demi-angle de diffusion (θ_e) dudit lobe principal (41) de rayonnement de ladite onde électromagnétique émise par rapport à l'horizontale (E-R) est sensiblement égal (θ_e) à celui dudit lobe principal (42) de rayonnement de ladite antenne de réception (R) et se trouve compris entre environ 15 et 60° et vaut préférentiellement 45°.

10 8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 7 caractérisé en ce que ledit lobe à demi-puissance (α) des antennes est inférieur à environ 25° et vaut notamment 22,5°.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 8 caractérisé en ce que lesdites antennes d'émission (E) et de réception (R) sont du type cornet circulaire ou rectangulaire.

15 10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 8 caractérisé en ce que lesdits antennes d'émission (E) et de réception (R) sont des antennes auto-protégées.

20 11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 caractérisé en ce que ladite fréquence (f_0) d'émission de ladite onde électromagnétique provenant dudit module d'émission est comprise entre environ 21 et 40 GHz et vaut notamment 35 GHz.

25 12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 et 11 caractérisé en ce que lesdites antennes (E,R) desdits modules d'émission et de réception sont protégées par des radômes notamment constitués en matériau plastique soudés sur les pourtours des cornets constituant lesdites antennes (E,R).

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 12 caractérisé en ce que ledit oscillateur (40) est soit :

- un oscillateur de type ORD seul
 - un oscillateur de type ORD ou GUNN asservi sur un pilote à quartz par l'intermédiaire d'une boucle de phase
 - un oscillateur de type ORD ou GUNN suivi d'un multiplicateur à
- 30

diodes "IMPATT".

14. Procédé d'identification et de mesure d'hydrométéores mis en oeuvre dans un dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 13 caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- 5 . une première étape de détection d'hydrométéores par mesure de la diffusion latérale dans ledit volume (V) de mesure.
- . une seconde étape d'identification desdits hydrométéores détectés par analyse spectrale du signal reçu.

10 15. Procédé selon la revendication 14 caractérisé en ce qu'il comprend une troisième étape de quantification desdits hydrométéores identifiés par mesure de la puissance diffusée à la sortie (47) dudit module récepteur.

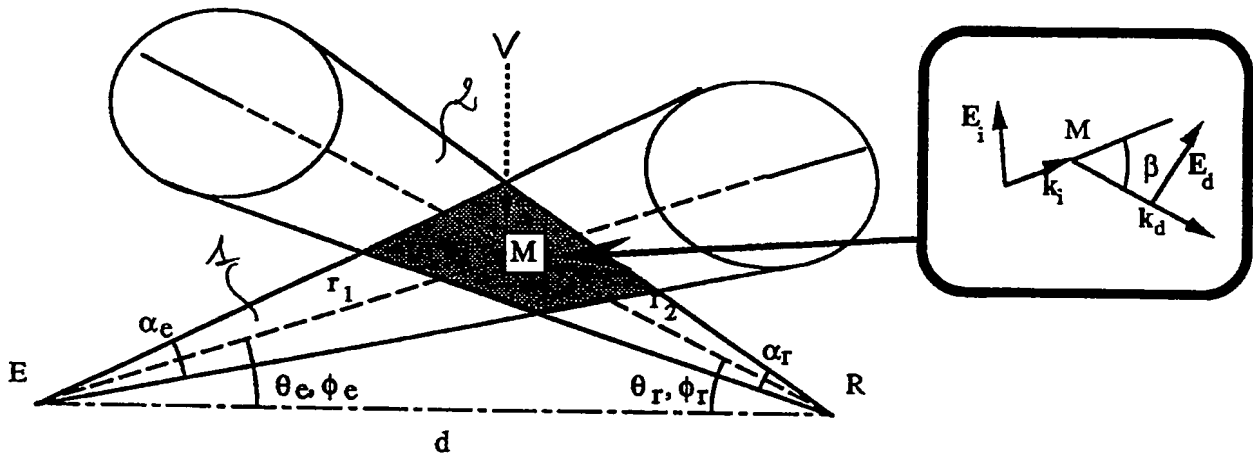


Fig. 1

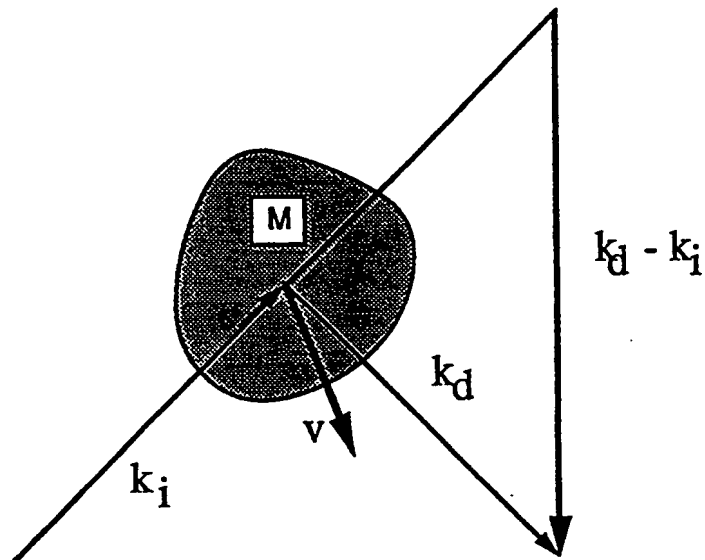


Fig. 2

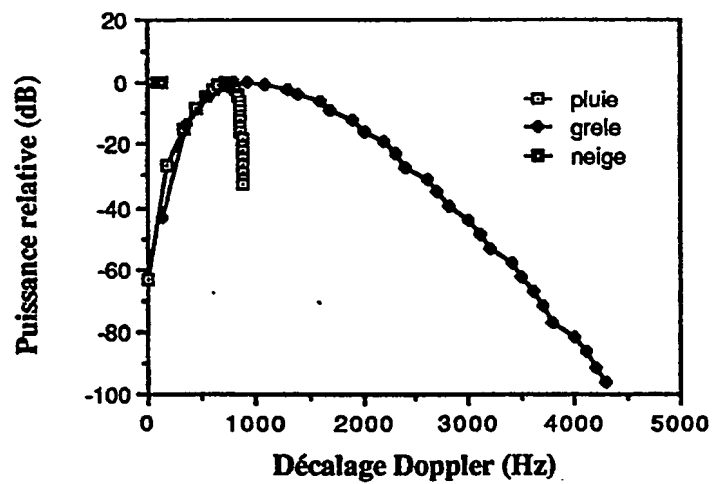
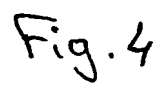


Fig. 3



INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FR 9002471
FA 441348

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	PROCEEDINGS OF THE IEEE, vol. 71, no. 9, septembre 1983, pages 1029-1073; T. OGUCHI: "Electromagnetic wave propagation and scattering in rain and other hydrometeors" * Pages 1066-1070, paragraph G: "Scattering by rain"; paragraph H: "Remote measurements of rain parameters and identification of hydrometeors" *	1-2,6,9,14
A	IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, vol. AP-22, no. 2, mars 1974, pages 312-320: R.K. CRANE: "Bistatic scatter from rain" * Pages 313,315-317 *	1
A	ANNALES DE TELECOMMUNICATION, vol. 35, nos. 11-12, 1980, pages 390-397: D.P. HAWORTH et al.: "Spectral analysis of the received signal on a 20 GHz bistatic scatter link" * Pages 392-393 *	1,3,5,13
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. C1.5)
		G 01 N 15/02 G 01 N 22/00 G 01 S 13/00
Date d'achèvement de la recherche 07-11-1990		Examineur BOEHM CH.E.D.
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

EPO FORM 1503 03.82 (P0413)